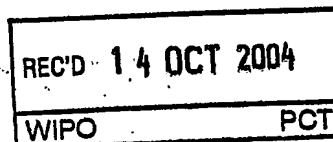
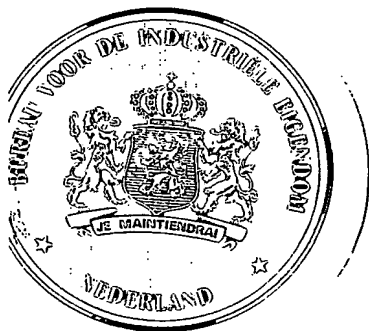


KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 15 augustus 2003 onder nummer 1024114,
ten name van:

SYSTEMATIC DESIGN HOLDING B.V.

te Delft

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze en inrichting voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik
van een hall-sensor",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

BEST AVAILABLE COPY

Rijswijk, 22 september 2004

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,

Mw. D.L.M. Brouwer

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

10 24114

SAMENVATTING

Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, waarbij genoemde

5 Hall-sensor bestaat uit één of meerdere, op zichzelf bekende, Hall-platen, die elk zijn voorzien van twee of meer paren aansluitingen voor toevoer van ingangssignalen (excitatie-signalen) en uitlezing van uitgangssignalen (detectie-signalen), waarbij op genoemde Hall-platen van genoemde

10 Hall-sensor een elektrische spanning wordt aangelegd als excitatiesignaal, en een elektrische stroom wordt uitgelezen als detectiesignaal dat de gemeten grootheid representeert. Tevens heeft de uitvinding betrekking op een inrichting, waarin de werkwijze volgens de uitvinding wordt toe-

15 gepast. De voorgestelde werkwijze en inrichting volgens de uitvinding verschaffen significante verbeteringen ten opzichte van de huidige stand der techniek op het terrein van de uitvinding.

**WERKWIJZE EN INRICHTING VOOR HET VERRICHTEN VAN METINGEN
AAN MAGNETISCHE VELDEN MET GEBRUIK VAN EEN HALL-SENSOR**

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een
5 werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische
velden met gebruik van een Hall-sensor, waarbij genoemde
Hall-sensor bestaat uit één of meerdere, op zichzelf beken-
de, Hall-platen, die elk zijn voorzien van twee of meer pa-
ren aansluitingen voor toevoer van ingangssignalen (excita-
10 tiesignalen) en uitlezing van uitgangssignalen (detectie-
signalen), waarbij op genoemde Hall-platen van genoemde
Hall-sensor een elektrische spanning wordt aangelegd als
excitatie-signaal, en een elektrische stroom wordt uitgele-
zen als detectie-signaal dat de gemeten grootte represen-
15 teert. Tevens heeft de uitvinding betrekking op een inrich-
ting, waarin de werkwijze volgens de uitvinding wordt toe-
gepast. De voorgestelde werkwijze en inrichting volgens de
uitvinding verschaffen significante verbeteringen ten op-
zichte van de huidige stand der techniek op het terrein van
20 de uitvinding.

Sensoren welke gebruik maken van het welbekende Hall-
effect vinden reeds lang velerlei toepassingen, met name
voor het verrichten van metingen aan magnetische velden.
25 Naast de basistoepassing voor het meten van de magnetische
veldsterkte, worden deze sensoren - in het navolgende aan
te duiden als 'Hall-sensoren' - bijvoorbeeld toegepast voor
het meten van positie, richting en rotatiesnelheid. Bij
laatstgenoemde toepassing kan men denken aan het meten van
30 de rotatiesnelheid van tandwielen en aandrijfassen in ma-
chinerieën. Daarbij dient de Hall-sensor bijvoorbeeld de
verandering in de magnetische veldsterkte te meten, wanneer
machine-onderdelen bestaande uit een magnetisch materiaal,
zoals bijvoorbeeld de tanden van een stalen tandwiel, pas-
35 sieren door het magnetisch veld van een permanente magneet.

Ook de toepassing in zogenaamde Anti-Blokkeer-Systemen (ABS) voor voertuigen is in dit opzicht welbekend. Voor veel toepassingen is het essentieel dat de gebruikte permanente magneten/magnetische delen zo klein en licht mogelijk zijn. Een belangrijk nadeel is echter in dit opzicht het feit dat Hall-sensoren volgens de huidige stand der techniek minder geschikt zijn voor het nauwkeurig meten van zwakkere magnetische velden (met een magnetische veldsterkte kleiner dan 1 milli-Tesla). Deze tegenstelling werkt meestal kostenverhogend. Voor effectief gebruik van Hall-sensoren in de genoemde ABS-systemen bijvoorbeeld, is het noodzakelijk om kostbare 'rare earth magnets' te gebruiken, teneinde een voldoende hoge magnetische veldsterkte te verschaffen om voldoende nauwkeurige metingen met behulp van de sensor mogelijk te maken. Tevens stellen dergelijke toepassingen hoge eisen aan de lineariteit en nauwkeurigheid van de noodzakelijke elektronische versterkings- en signaalbewerkingsvoorzieningen, en aan de behuizing van de sensor, wat eveneens kostenverhogend werkt.

Veel toepassingen hebben het wenselijk gemaakt om Hall-platen, veelal tezamen met versterkings- en signaalbewerkingselektronica, te integreren in halfgeleidermateriaal, bijvoorbeeld in silicium via het welbekende CMOS-proces. Naast het voordeel van eenvoudige integratie van elektronische componenten in silicium, is het nadeel hiervan dat de meetnauwkeurigheid en -gevoeligheid van Hall-platen volgens de huidige stand der techniek juist negatief wordt beïnvloed door factoren die inherent zijn aan hun integratie in silicium halfgeleidermateriaal.

Ook het traditionele principe voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van Hall-platen, heeft bij gebruik van in silicium halfgeleidermateriaal geïntegreerde Hall-platen nadelige invloed op de meetnauwkeurigheid en -gevoeligheid van de sensor. Bij dit traditionele meetprincipe wordt namelijk een stroom als excitatiesig-

naal gebruikt en wordt de resulterende Hall-spanning geme-
ten, die een representatie vormt van de veldsterkte van het
magnetisch veld waarin de sensor zich bevindt. Een belang-
rijk nadeel hiervan is, dat via mathematische analyse kan
5 worden aangetoond dat een geïntegreerde Hall-sensor span-
ningsafhankelijke niet-lineariteiten vertoont, die bij ge-
bruik van genoemd principe van stroomexcitatie en span-
ningsdetectie zeer moeilijk zijn te compenseren.

- 10 De belangrijkste factoren, inherent aan hun integratie in
silicium halfgeleidermateriaal, die de meetnauwkeurigheid
en -gevoeligheid van in silicium halfgeleidermateriaal ge-
integreerde Hall-platen volgens de huidige stand der tech-
niek negatief beïnvloeden, zijn:
- 15 - Offset-spanningen veroorzaakt door mechanische span-
ningen (stress) in de kristalroosters van de gebruikte
halfgeleidermaterialen via het Piëzo-weerstand effect;
 - Offsetspanningen veroorzaakt door het Seebeck-effect:
door temperatuurverschillen wordt op verschillende lokaties
20 op de Hall-plaat een positie-afhankelijke contactpotentiaal
gecreëerd bij de overgang tussen halfgeleidermateriaal en
metalen aansluitingen;
 - Offset-spanningen veroorzaakt door lokale geometri-
sche onnauwkeurigheden in het halfgeleidermateriaal, ont-
staan tijdens het integratieproces (bijvoorbeeld uit-
25 lijningsfouten van de aansluitingen, etsingsvariaties);
 - Offset-spanningen ten gevolge van geaccumuleerde la-
ding aan de overgang tussen silicium en siliciumoxide;
 - Offset en niet-lineariteiten van elektronische voor-
30 zieningen voor bijvoorbeeld versterking en bewerking van
uitgangssignalen van Hall-platen, waarbij genoemde
schakelingen eveneens negatief worden beïnvloedt door de
hiervoor genoemde factoren, wanneer zij in halfgeleider-
materiaal zijn geïntegreerd, al dan niet op hetzelfde
35 substraat als de bijbehorende Hall-platen zelf.

.....

Offsetspanningen in Hall-sensoren kunnen een factor 1000 groter zijn dan de uiteindelijk te meten Hall-spanningen. In het verleden zijn dan ook velerlei methoden ontwikkeld, waarmee men tracht de verschillende offsetspanningen en andere nadelige factoren te compenseren, ten-
einde de meetnauwkeurigheid en -gevoeligheid van Hall-sensoren te vergroten.

10 In eerste benadering kan een Hall-plaat worden gemodelleerd als een gebalanceerde weerstandsbrug (Wheatstonebrug). Door de eerder genoemde spanningen (stress) in het kristalrooster van de gebruikte halfgeleidermaterialen verandert de waarde van bepaalde weerstanden in de brug,
15 waardoor er een offsetspanning ontstaat, die in de orde van grootte van enige tientallen milli-Tesla kan liggen. Daarnaast zorgt het genoemde Seebeck-effect voor een statische (stroom- en spanningsonafhankelijke) offset spanning in de
20 orde van grootte van enige milli-Tesla. Deze offsetspanning wordt opgeteld bij de uitgangs(Hall-)spanning van de Hall-plaat. De Hall-plaat levert in dat geval een uitgangsspanning, terwijl er geen magnetisch veld aanwezig is. De magnetische veldsterkte die zou moeten worden gemeten met een 'ideale' Hall-plaat om een Hall-spanning op te wekken van
25 dezelfde orde van grootte als deze offsetspanning, kan gemakkelijk enige tientallen milli-Tesla bedragen. Via mathematische analyse kan worden aangetoond dat de genoemde statische offset ten gevolge van het Seebeck-effect kan worden gecompenseerd door metingen in paren uit te voeren,
30 waarbij telkens bij de tweede deelmeting de richting van de excitatiestroom wordt omgedraaid, en vervolgens het verschil wordt bepaald van de uit de beide deelmetingen resulterende Hall-spanning. Eveneens kan via mathematische analyse worden aangetoond
35 dat de genoemde offset ten gevolge van stress kan worden

.. .. .

.....

gecompenseerd door metingen uit te voeren met twee Hall-platen, waarbij de tweede Hall-plaat 90 graden is verdraaid ten opzichte van de eerste. Van beide Hall-platen wordt telkens het verschil van de uitgangs(Hall-)spanningen bepaald. In het octrooidocument US 5.241.270 wordt gebruik gemaakt van deze methode in een aangepaste vorm, waarbij twee Hall-platen tegelijkertijd worden gebruikt, zodat de genoemde twee metingen tegelijkertijd kunnen worden uitgevoerd, in plaats van na elkaar.

10

Veel bekende methoden waarmee wordt getracht de offset ten gevolge van stress te compenseren, zijn gebaseerd op een configuratie die ook wel wordt aangeduid als 'orthogonaal geschakelde Hall-plaat', daar de stroomrichtingen van de excitatiestromen in de beide deelmetingen loodrecht op elkaar staan. De meeste Hall-sensoren volgens de huidige stand der techniek, omvatten een vierkante Hall-plaat met elektrische aansluitingen op de hoekpunten. Bij de bovengenoemde offsetcompensatiemethode met orthogonaal geschakelde Hall-platen worden de metingen in de meeste gevallen uitgevoerd in paren, waarbij men bij de eerste deelmeting een excitatiestroom laat lopen door de Hall-plaat tussen twee tegenoverliggende aansluitingen, en waarbij de resulterende Hall-spanning wordt gemeten over de twee andere tegenoverliggende aansluitingen. In plaats van de richting van de excitatiestroom om te keren, zoals boven beschreven, verwisselt men voor de tweede deelmeting de aansluitingsparen voor de excitatiestroom en de Hall-spanning, zodat de richting van de excitatiestroom nu 90 graden is verdraaid ten opzichte van die in de eerste deelmeting. Vervolgens invertteert men de polariteit van de Hall-spanning die bij de tweede deelmeting wordt gemeten, en telt deze spanning op bij de gemeten Hall-spanning van de eerste deelmeting. Onder andere in de octrooidocumenten US 5 406 202, US 5 844 427, EP 1 010 987 A2 en EP 1 130 360 A2 worden Hall-sen-

.....

.....

soren beschreven, waarin dergelijke offsetcompensatiemethoden met orthogonaal geschakelde Hall-platen worden gebruikt. Deze methode kan alleen voor volledige offsetcompensatie zorgen als de gebruikte Hall-platen in functioneel opzicht een volledig lineair gedrag zouden vertonen. Vanwege hun constructie zijn Hall-platen die zijn uitgevoerd in halfgeleidermateriaal echter inherent niet-lineair. Er kan worden aangetoond dat de belangrijkste niet-lineariteiten in Hall-platen spanningsafhankelijk zijn. Doordat echter de boven beschreven offsetcompensatiemethoden stroomexcitatie en spanningsdetectie gebruiken, kunnen niet-lineaire offsettermen niet volledig worden gecompenseerd. Bovendien wordt volgens de beschreven methode van orthogonaal schakelen van Hall-platen, de richting van de excitatiestroom niet volledig (180 graden) omgekeerd, maar slechts 90 graden, waardoor de offset ten gevolge van het Seebeck-effect niet wordt gecompenseerd, zodat een significante offsetterm aanwezig blijft. In de literatuur zijn offsetcompensatiemethoden bekend, die gebruik maken van het genoemde orthogonaal schakelen, maar dan over 360 graden, in plaats van over 90 graden. Hall-sensoren waarin deze methode wordt gebruikt, zijn in de literatuur bekend als 'spinning current Hall-sensoren'. De daarbij gebruikte Hall-platen zijn meestal voorzien van acht aansluitingen en hebben een zodanige symmetrie, dat telkens een rechte verbindingslijn tussen twee tegenoverliggende aansluitingen, orthogonaal (loodrecht) staat op een rechte verbindingslijn tussen twee andere aansluitingen. Tijdens acht deelmetingen loopt nu telkens een vaste excitatiestroom tussen twee tegenoverliggende aansluitingen, en wordt de bijbehorende Hall-spanning gemeten tussen de twee aansluitingen waarvan de rechte verbindingslijn orthogonaal staat op de rechte verbindingslijn tussen de twee eerstgenoemde aansluitingen. De resulterende Hall-sensor wordt vervaardigd door het Duitse Fraunhofer IIS. Het relatief grote aantal aanslui-

35

.....

tingen van de Hall-plaat in deze sensor, zorgt echter voor een ongewenste reductie van de sensorgevoeligheid ten opzicht van Hall-platen met een kleiner aantal aansluitingen. Daarbij wordt ook hier gebruik gemaakt van stroomexcitatie en spanningsdetectie, waardoor niet-lineaire offsettermen niet volledig worden gecompenseerd.

In het octrooidocument US 5 621 319 wordt een methode beschreven voor compensatie van de offset ten gevolge van kristalspanningen in geïntegreerde Hall-sensoren. Daarbij wordt de eerder beschreven spinning methode met orthogonale schakeling van de Hall-plaat gebruikt. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van spanningsexcitatie, in plaats van stroomexcitatie. Het nadeel is echter dat men deze spanningsexcitatie combineert met spanningsdetectie, zodat de offset ten gevolge van stress juist niet wordt gecompenseerd, vanwege de richtingsafhankelijkheid van elektrische eigenschappen van het halfgeleidermateriaal (anisotropie).

In vele octrooidocumenten, zoals de eerder genoemde US 5 406 202 en US 5 844 427, waarin methoden worden beschreven voor compensatie van de offset ten gevolge van kristalspanningen in geïntegreerde Hall-sensoren, wordt getracht een initiële offsetcompensatie te bereiken door meerdere Hall-platen, die ten opzichte van elkaar over een bepaalde hoek zijn verdraaid, parallel te schakelen. In de meeste gevallen gaat het daarbij om twee Hall-platen met een onderlinge verdraaiingshoek van 90 graden. Mathematisch kan worden aangetoond dat deze benadering slechts optimaal kan functioneren, wanneer er vier parallelgeschakelde Hall-platen worden gebruikt, waarvan de tweede, derde en vierde plaat respectievelijk 90, 180 en 270 graden zijn verdraaid ten opzichte van de eerste plaat, en als daarbij tevens spanningsexcitatie en stroomdetectie worden toegepast. In het document EP 1 206 707 B1 wordt wel een configuratie met vier Hall-platen toegepast, maar deze zijn steeds 45 graden verdraaid, in plaats van 90 graden. In functioneel opzicht

.....

.....

vormen de vier Hall-platen hier in feite één spinning current Hall-plaat met acht aansluitingen, zoals eerder beschreven, met de eveneens eerder beschreven nadelen.

Een verdere significante bron van offset in Hall-sensoren, is de offset en niet-lineariteit van elektronische voorzieningen voor bijvoorbeeld versterking en bewerking van uitgangssignalen van Hall-platen. Het feit dat deze elektronische voorzieningen vaak zijn meegeïntegreerd met de Hall-platen in hetzelfde halfgeleidersubstraat, biedt mogelijkheden om bijvoorbeeld compensatie van de offset van een mee-geïntegreerde versterker te combineren met compensatie van de offset van een Hall-plaat ten gevolge van het Seebeck-effect. In het document US 6 154 027 wordt een methode beschreven waarbij het uitgangssignaal van een spinning current Hall-plaat eerst wordt voorversterkt, alvorens te worden gedemoduleerd. Hier is echter sprake van spinning over 90 graden in twee stappen, in plaats van spinning over 360 graden in vier stappen. De offset ten gevolge van het Seebeck-effect wordt hierdoor niet gecompenseerd.

De offset ten gevolge van kristalspanningen in het halfgeleidermateriaal van een Hall-sensor varieert voor verschillende kristalrichtingen. Nochtans is er uit de relevante literatuur op dit gebied nauwelijks iets bekend over de optimale oriëntatie van een Hall-plaat in halfgeleidermateriaal. Onderzoek door aanvrager heeft aangetoond dat de gevoeligheid van een Hall-plaat voor stress kan worden gereduceerd met een factor 10 door het kiezen van de juiste oriëntatie.

30

Samenvattend kan men, op grond van het boven genoemde, stellen dat men er tot op heden niet in is geslaagd om de problemen binnen de huidige stand der techniek op dit gebied op te lossen, teneinde het effect van factoren die de meetnauwkeurigheid en -gevoeligheid van geïntegreerde

35

.. .. .

.....

Hall-sensoren negatief beïnvloeden, afdoende te compenseren.

De onderhavige uitvinding heeft ten doel een werkwijze en inrichting voor te stellen voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, waarin verschillende methoden voor het vergroten van de meetnauwkeurigheid en -gevoeligheid van Hall-sensoren op optimale wijze worden gecombineerd.

10

De werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor conform de uitvinding, waarbij genoemde Hall-sensor bestaat uit één of meerdere, op zichzelf bekende, Hall-platen, die elk zijn voorzien van twee of meer paren aansluitingen voor toevoer van ingangssignalen (excitatie signalen) en uitlezing van uitgangssignalen (detectie signalen), wordt gekenmerkt door het feit dat op genoemde Hall-platen van genoemde Hall-sensor een elektrische spanning wordt aangelegd als excitatie signaal, en een elektrische stroom wordt uitgelezen als detectie signaal dat de gemeten grootte representeert. Zoals beschreven in het voorafgaande, kent elke Hall-plaat spanningsafhankelijke niet-lineariteiten. Bij gebruik van de traditionele stroomexcitatie en spanningsdetectie kunnen niet-lineaire offset-termen niet volledig worden gecompenseerd, hetgeen daarentegen wel het geval is bij toepassing van spanningsexcitatie en stroomdetectie. Ook voor het optimaal functioneren van de boven beschreven methode voor initiële compensatie van de offset ten gevolge van kristalspanningen in geïntegreerde Hall-sensoren, door parallel schakelen van meerdere Hall-platen met een onderlinge verdraaiing, is het voordeliger om gebruik te maken van de combinatie spanningsexcitatie / stroomdetectie.

35

Met voordeel kunnen verder, volgens de werkwijze van

.. .. .

.....

de uitvinding voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, Hall-platen worden gebruikt, waarvan het grootste vlak twee aansluitingenparen (A_1 , A_2) en (B_1 , B_2) bezit, waarbij per aansluitingenpaar de aansluitingen zodanig op tegenoverliggende posities in genoemd vlak van de plaat zijn geplaatst, en waarbij genoemd vlak van de plaat een zodanige vorm heeft, dat het genoemde vlak van de plaat spiegelsymmetrisch is ten opzichte van de rechte verbindingslijn tussen de twee aansluitingen van een aansluitingenpaar. Metingen met dergelijke Hall-platen volgens de werkwijze van de uitvinding worden dan gekenmerkt door het feit dat een excitatiespanning $V_{ex}(X+,Y-)$ op een aansluitingenpaar (X , Y) (met (X , Y) $\in \{(A_1$, $A_2)$, (B_1 , $B_2)\}$ wordt aangelegd en de detectiestroom $I_{det}(X \rightarrow Y)$, welke door de Hall-plaat tussen de aansluitingen van het andere aansluitingenpaar vloeit, wordt gemeten bij kortgesloten aansluitingen van laatstgenoemd aansluitingenpaar, waarbij de meting in vier stappen

20

$$\begin{aligned} &\{V_{ex}(A_1 , A_2) , I_{det}(B_1 \rightarrow B_2)\} \\ &\{V_{ex}(B_1 , B_2) , I_{det}(A_2 \rightarrow A_1)\} \\ &\{V_{ex}(A_2 , A_1) , I_{det}(B_2 \rightarrow B_1)\} \\ &\{V_{ex}(B_2 , B_1) , I_{det}(A_1 \rightarrow A_2)\} \end{aligned}$$

wordt uitgevoerd, die in willekeurige volgorde kunnen worden doorlopen, gedurende welke de aard en signaalvorm van de excitatiespanning gelijk blijven, en waarna uit de vier meetwaarden voor het detectiesignaal $I_{det}(X \rightarrow Y)$ een representatie van de gemeten grootheid wordt bepaald via elektronische bewerking. Tussen de genoemde metingen bestaande uit vier stappen, kunnen aard en/of signaalvorm van de excitatiespanning wel worden gewijzigd. In veel gevallen zal de genoemde 'gemeten grootheid' de magnetische veldsterkte zijn.

Hierbij is dus sprake van een 'spinning voltage' methode, waarbij de spinning plaatsvindt over 360 graden, en in 35 stappen van 90 graden. Zoals in het voorafgaande beschre-

.....

.....

ven, kan op deze wijze een optimale compensatie van de offset ten gevolge van het Seebeck-effect plaatsvinden. Tevens kunnen Hall-platen worden gebruikt met slechts vier aansluitingen, wat ten goede komt aan de gevoeligheid van de
5 Hall-sensor.

Verder is het voordelig om volgens de werkwijze van de uitvinding voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, genoemde bepaling van een representatie van de gemeten grootte via
10 elektronische bewerking van de genoemde vier meetwaarden voor het detectiesignaal $I_{det}(X \rightarrow Y)$, pas te laten plaatsvinden na versterking van dit detectiesignaal.

Op deze wijze is het, bij gebruik van de eerder beschreven
15 spinning voltage methode over 360 graden, in stappen van 90 graden, mogelijk om in een en dezelfde stap zowel de offset ten gevolge van het Seebeck-effect, als de offset van de versterker te compenseren. De genoemde elektronische bewerking van de meetwaarden voor het detectiesignaal zou bij-
20 voorbeeld quadratuurdemodulatie kunnen zijn.

De werkwijze volgens de uitvinding voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor kan verder met voordeel zijn gekenmerkt
25 door het feit dat genoemde elektronische bewerking van genoemde vier meetwaarden voor het detectiesignaal $I_{det}(X \rightarrow Y)$, onder andere middeling van deze meetwaarden omvat.

Volgens de werkwijze van de uitvinding voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, worden bij voorkeur Hall-platen gebruikt, die zijn uitgevoerd in N-type silicium halfgeleidermateriaal.
30 Hall-platen die zijn uitgevoerd in P-type silicium, vertonen een zwakker Hall-effect dan N-type platen, waardoor
35

offsetveroorzakende factoren, zoals bijvoorbeeld kristalspanningen, een relatief grotere nadelige invloed hebben. P-type Hall-platen zijn derhalve minder geschikt voor het bereiken van optimale offsetcompensatie.

5

Volgens de werkwijze van de uitvinding voor het ver-
richten van metingen aan magnetische velden met gebruik van
een Hall-sensor, is het verder voordelig om, wanneer de ge-
noemde halfgeleider Hall-platen zijn vervaardigd in N-type
10 silicium halfgeleidermateriaal via een proces dat heeft ge-
resulteerd in het samenvallen van het substraat-oppervlak
met het (100) kristalvlak van het silicium halfgeleiderma-
teriaal, Hall-platen te gebruiken, waarvan de oriëntatie in
het kristalvlak zodanig is dat de rechte verbindingslijn
15 tussen de aansluitingen A_1 en A_2 van het aansluitingenpaar
(A_1 , A_2) en de rechte verbindingslijn tussen de aanslui-
tingen B_1 en B_2 van het aansluitingenpaar (B_1 , B_2), samen-
valt met of orthogonaal is ten opzichte van de kristal-
assen [010] of [001], of equivalente kristalrichtingen van
20 het silicium halfgeleidermateriaal.

Bij gebruik van een Hall-plaat als hierboven beschreven,
met vier aansluitingen, en voltage spinning over 360 gra-
den, in stappen van 90 graden, kan hierdoor volgens onder-
zoek van aanvrager een reductie met een factor tien van de
25 offset ten gevolge van kristalspanningen worden bereikt.
Bij de eerder genoemde, bekende Hall-plaat met acht aan-
sluitingen en gebruik van current spinning, kan men nimmer
de ideale oriëntatie van de plaat bereiken, doordat er in
dat geval altijd aansluitingenparen zullen zijn, waarvan de
30 rechte verbindingslijn niet samenvalt met of orthogonaal is
ten opzichte van de kristal-assen [010] of [001], of equi-
valente kristalrichtingen van het silicium halfgeleiderma-
teriaal.

35

Volgens de werkwijze van de uitvinding voor het ver-

-
- richten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, kunnen met voordeel vier van de genoemde Hall-platen met elk twee aansluitingparen (A_1 , A_2) en (B_1 , B_2) worden gebruikt, waarbij de tweede, derde en vierde plaat respectievelijk 90 graden, 180 graden en 270 graden zijn verdraaid ten opzichte van de eerste plaat, en waarbij de vier platen parallel zijn geschakeld door telkens de overeenkomstige aansluitingen van de vier platen met elkaar te verbinden.
- 10 In combinatie met spanningsexcitatie en stroomdetectie kan hiermee een initiële reductie van de offset ten gevolge van kristalspanningen en de offset ten gevolge van het Seebeck-effect worden bereikt.
- 15 Volgens de werkwijze van de uitvinding voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, is het verder voordelig om een Hall-sensor met genoemde vier parallel geschakelde Hall-platen te gebruiken, die bestaat uit een silicium 'chip' waarin de vier
- 20 Hall-platen allen in hetzelfde siliciumsubstraat zijn geïntegreerd.
- Hiermee is het mogelijk om de offset ten gevolge van kristalspanningen en de offset ten gevolge van het Seebeck-effect optimaal te compenseren. Wanneer bovendien de optimale oriëntatie van de eerste Hall-plaat ten opzichte van de kristal-assen is bepaald, is deze automatisch ook optimaal voor de overige drie platen, ondanks hun verdraaiing.
- 25 Volgens de werkwijze van de uitvinding voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor worden bij voorkeur Hall-platen gebruikt, die bestaan uit een laag N-type silicium, die zich bevindt tussen een onderliggend substraat van P-type silicium en een toplaag van P-type silicium.
- 30 Deze opbouw, die bekend staat als 'pinched', genereert min-
-

.....

der flikkerruis (flicker noise). Tevens ontstaan door pin-
chen bredere depletiegebieden in de laag N-type silicium,
waardoor de Hall-plaat effectief dunner wordt, wat een ver-
hoging van de gevoeligheid van de plaat teweegbrengt. Een
5 nadeel is dat een Hall-plaat met pinching minder lineair is
dan een niet-gepinchte plaat. Door gebruik van spanningsex-
citatie en stroomdetectie kan de niet-lineariteit echter
worden gecompenseerd, daar deze spanningsafhankelijk is.

10 Volgens de werkwijze van de uitvinding voor het ver-
richten van metingen aan magnetische velden met gebruik van
een Hall-sensor, kan met voordeel het uitgangssignaal van
de genoemde Hall-pla(a)t(en) door een vertraginglijn met
een zodanige structuur wordt geleid dat, na sommatie en
15 middeling, de meetwaarden worden afgeleverd met dezelfde
frequentie als waarmee de genoemde vier meetstappen
{ $V_{ex}(X+, Y-)$, $I_{det}(X \rightarrow Y)$ } worden doorlopen.
Een nadeel van spinning methoden in het algemeen, is het
feit dat voor elke representatie van de gemeten grootheid,
20 meerdere deelmetingen dienen te worden verricht. Door mid-
del van het gebruik van een vertraginglijn zoals hiervoor
beschreven, wordt dit nadeel gecompenseerd. Deze methode
wordt ook wel 'staggered processing' genoemd. Combinatie
hiervan met bijvoorbeeld quadratuurdemodulatie maakt schat-
25 ting van zowel de offset, als het Hall-signaal mogelijk. De
schattingen voor de offset kunnen dan worden gebruikt voor
het optimaliseren van het dynamisch bereik van de Hall-
sensor.

30 De uitvinding stelt tevens een inrichting voor het
verrichten van metingen aan magnetische velden voor, die
wordt gekenmerkt door het feit dat in deze inrichting de
werkwijze volgens de uitvinding wordt toegepast, en tevens
dat van de hiervoor benodigde elektronische componenten, er
35 meerdere tezamen zijn geïntegreerd in hetzelfde silicium-

.. .. .

.....

substraat.

Naast de evidente voordelen van integratie van meerdere elektronische voorzieningen, is een belangrijk voordeel hiervan, het feit dat de onderlinge variatie in bijvoorbeeld materiaalparameters en temperatuur, van separate geïntegreerde schakelingen, inter-chip variatie genoemd, in het algemeen groter is dan de onderlinge variatie tussen schakelingen die zijn geïntegreerd in hetzelfde silicium-substraat, intra-chip variatie. Laatstgenoemde variant 10 biedt daardoor betere mogelijkheden voor offsetcompensatie.

In het navolgende zal de uitvinding nader worden toegelicht aan de hand van een in de figuren schematisch weergegeven uitvoeringsvariant van een inrichting volgens de 15 uitvinding, waarin de werkwijze volgens de uitvinding is geïmplementeerd. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de weergegeven uitvoeringsvariant slechts is gekozen ter illustratie, doch geenszins een beperking van het toepassingsgebied van de uitvinding inhoudt.

20 In figuur 1 is schematisch een uitvoeringsvariant weergegeven van een Hall-sensor volgens de uitvinding, waarin de werkwijze volgens de uitvinding is geïmplementeerd.

25 Bij de navolgende beschrijving van een Hall-sensor aan de hand van figuur 1, wordt aangenomen dat de afgebeelde Hall-platen, elektronische voorzieningen en bedrading allen zijn geïntegreerd in hetzelfde siliciumsubstraat en deel uitmaken van dezelfde silicium 'chip'. Verder wordt 30 aangenomen dat gebruik wordt gemaakt van N-type Hall-platen, dat de geïntegreerde schakeling een gepinchte structuur heeft en dat het substraatooppervlak samenvalt met het (100) kristalvlak van het gebruikte silicium halfgeleidermateriaal. 35

.. .. .

De uitvoeringsvariant van een Hall-sensor volgens de uitvinding omvat een samengestelde Hall-plaat, bestaande uit vier sub-platen 101 tot en met 104. De sub-platen 102, 103 en 104 zijn daarbij respectievelijk 90, 180 en 270 graden linksom verdraaid ten opzichte van sub-plaat 101. Elke sub-plaat is voorzien van vier aansluitingen A_1 , A_2 , B_1 en B_2 welke de respectievelijke aansluitingenparen (A_1 , A_2) en (B_1 , B_2) vormen. Overeenkomstige aansluitingen van de vier sub-platen zijn elektrisch met elkaar verbonden, zodat de vier sub-platen in feite parallel zijn geschakeld. Zoals in de figuur is te zien, geldt voor alle sub-platen dat de rechte verbindingslijn tussen de aansluitingen behorend bij een aansluitingenpaar, evenwijdig is aan, of orthogonaal is ten opzichte van de eveneens in de figuur aangegeven kristal-assen [010] of [001].

De vier parallelgeschakelde aansluitingen van de samengestelde Hall-plaat zijn nu verbonden met de vier uitgangen van schakelvoorzieningen 106 en 107, en met de twee ingangen van schakelvoorzieningen 108 en 109, zoals getoond in figuur 1. De genoemde schakelvoorzieningen 106, 107, 108 en 109, welke in technisch opzicht op vele, bekende wijzen en met gangbare componenten kunnen worden gerealiseerd, ontvangen een kloksignaal van oscillator 111 en kennen vier schakeltoestanden (1 tot en met 4), waarbij in elke schakeltoestand een ingang van de schakelvoorziening is verbonden met een uitgang van diezelfde schakelvoorziening. In de figuur geven de pijlen in de schakelvoorzieningen aan, welke ingang met welke uitgang is verbonden per schakeltoestand. In schakeltoestand 1 bijvoorbeeld, wordt de ingang van schakelvoorziening 106 verbonden met de aansluitingen A_1 van de samengestelde Hall-plaat, en in de schakeltoestanden 1 en 2 worden door schakelvoorziening 108 de aansluitingen B_1 van de samengestelde Hall-plaat verbonden met de uitgang van laatstgenoemde schakelvoorziening. De scha-

.....

keltoestanden 1 tot en met 4 worden cyclisch doorlopen onder aansturing van een door oscillator 111 gegenereerd kloksignaal.

De ingangen van schakelvoorzieningen 106 en 107 zijn
5 verbonden met spanningsbron 105, welke een spanning af-
geeft, die geschikt is om te worden gebruikt als excitatie-
spanning voor de samengestelde Hall-plaat. De schakelvoor-
zieningen 106 en 107 en de parallelschakeling van de sub-
platen 101, 102, 103 en 104 van de samengestelde Hall-
10 plaat, zorgen er nu voor dat, per cyclus van vier schakel-
toestanden, de genoemde excitatie-spanning van spannings-
bron 105 twee maal op elk van de beide aansluitingenparen
van de sub-platen wordt gezet, waarvan één maal met omge-
keerd teken. Telkens wanneer per schakeltoestand de excita-
15 tiespanning op vier parallelgeschakelde aansluitingenparen
van de vier sub-platen wordt gezet, zorgen de schakelvoor-
zieningen 108 en 109 ervoor dat het totaal van de kort-
sluit(Hall)stromen die door de andere vier parallelgescha-
kelde aansluitingenparen van elke sub-plaat gaan lopen,
20 worden uitgelezen (gedetecteerd) en worden toegevoerd aan
een versterkingsvoorziening 110. Dit kan bijvoorbeeld een
stroomversterker zijn. De genoemde kortsluitstromen vormen
een representatie van de door de Hall-sensor gemeten magne-
tische veldsterkte. Na de versterkingsvoorziening 110 wordt
25 het teken van twee van de vier meetwaarden, die gedurende
een cyclus van vier schakeltoestanden worden afgeleverd,
geïnverteerd door de twee schakelvoorzieningen 112 en 113.
Deze schakelvoorzieningen, welke in technisch opzicht op
vele, bekende wijzen en met gangbare componenten kunnen
30 worden gerealiseerd, ontvangen een kloksignaal van oscilla-
tor 111 en kennen, net als de schakelvoorzieningen 106 tot
en met 108, vier schakeltoestanden (1 tot en met 4), zoals
weergegeven in de figuur.

De hier beschreven uitvoeringsvariant van de in-
35 richting volgens de uitvinding is in feite een 'spinning

.....

.....

voltage Hall-sensor' met vier aansluitingen. De uitgelezen stromen kunnen zowel in analoge als digitale vorm verder worden verwerkt, al naar gelang de eisen van de specifieke toepassing. Analooq-digitaal omzetters en andere ondersteu-
5 nende elektronische voorzieningen zijn niet relevant voor deze beschrijving en zijn derhalve niet afgebeeld in de figuur.

Doordat het 'spinnen' vier stappen omvat, samenval-
lende met de vier genoemde schakeltoestanden, zou de hier
10 beschreven Hall-sensor na elke vier stappen een uitgangs-
waarde afleveren. Teneinde dit te versnellen, kan gebruik
worden gemaakt van 'staggered processing'. Daarbij zijn de
uitgangen van de schakelvoorzieningen 112 en 113 verbonden
met een vertraginglijn bestaande uit drie secties 114, 115
15 en 116. Onder besturing van de oscillator 111 wordt nu tij-
dens elke schakeltoestand een uitgangssignaal van de scha-
kelinrichtingen 112 en 113 toegevoerd aan de vertraging-
lijn. De uitgangen van genoemde schakelinrichtingen 112 en
113 en de uitgangen van elk van de drie secties 114, 115 en
20 116 van de vertraginglijn zijn verbonden met een optel-
voorziening 117, die onder besturing van oscillator 111
tijdens elke schakeltoestand een optelling van de uitgangs-
signalen van de schakelvoorzieningen 112 en 113, en van de
uitgangssignalen van de secties 114, 115 en 116 van de ver-
25 traginglijn uitvoert. Het uitgangssignaal van de optel-
voorziening 117 is tevens het uitgangssignaal van de hier
beschreven Hall-sensor.

.....

CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor, waarbij
 - 5 genoemde Hall-sensor bestaat uit één of meerdere, op zichzelf bekende, Hall-platen, die elk zijn voorzien van twee of meer paren aansluitingen voor toevoer van ingangssignalen (excitatie signalen) en uitlezing van uitgangssignalen (detectie signalen),
 - 10 met het kenmerk dat op genoemde Hall-platen van genoemde Hall-sensor een elektrische spanning wordt aangelegd als excitatie signaal, en een elektrische stroom wordt uitgelezen als detectie signaal dat de gemeten grootheid representeert.
- 15 2. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens conclusie 1, waarbij het grootste vlak van elke gebruikte Hall-plaat twee aansluiting paren (A_1 , A_2) en (B_1 , B_2)
 - 20 bezit, waarbij per aansluiting paar de aansluitingen zodanig op tegenoverliggende posities in genoemd vlak van de plaat zijn geplaatst, en waarbij genoemd vlak van de plaat een zodanige vorm heeft, dat het genoemde vlak van de plaat spiegelsymmetrisch is ten opzichte van de rechte verbin-
 - 25 dingslijn tussen de twee aansluitingen van een aansluiting paar,
 - met het kenmerk dat bij elke meting met behulp van genoemde Hall-plaat, een excitatie spanning $V_{ex}(X+,Y-)$ op een aansluiting paar (X , Y) (met $(X$, $Y) \in \{(A_1$, $A_2)$, (B_1 , $B_2)\}$ wordt aangelegd en de detectie stroom $I_{det}(X \rightarrow Y)$, welke door de Hall-plaat tussen de aansluitingen van het andere aansluiting paar vloeit, wordt gemeten bij kortgesloten aansluitingen van laatstgenoemd aansluiting paar, waarbij de meting in vier stappen

$$35 \quad \{V_{ex}(A_1 , A_2) , I_{det}(B_1 \rightarrow B_2)\}$$

.. .. .

$$\begin{aligned} & \{V_{ex}(B_1, B_2), I_{det}(A_2 \rightarrow A_1)\} \\ & \{V_{ex}(A_2, A_1), I_{det}(B_2 \rightarrow B_1)\} \\ & \{V_{ex}(B_2, B_1), I_{det}(A_1 \rightarrow A_2)\} \end{aligned}$$

wordt uitgevoerd, die in willekeurige volgorde kunnen worden doorlopen, gedurende welke de aard en signaalgewicht van de excitatiespanning gelijk blijven, en waarna uit de vier meetwaarden voor het detectiesignaal $I_{det}(X \rightarrow Y)$ een representatie van de gemeten grootte wordt bepaald via elektronische bewerking.

10

3. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens conclusie 2, met het kenmerk dat genoemde bepaling van een representatie van de gemeten grootte via elektronische bewerking van de genoemde vier meetwaarden voor het detectiesignaal $I_{det}(X \rightarrow Y)$, pas plaatsvindt na versterking van dit detectiesignaal.

20 4. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens conclusie 2 of 3, met het kenmerk dat genoemde elektronische bewerking van genoemde vier meetwaarden voor het detectiesignaal $I_{det}(X \rightarrow Y)$, onder andere middeling van deze meetwaarden omvat.

25

5. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens één van de conclusies 2 tot en met 4, met het kenmerk dat Hall-platen worden gebruikt, die zijn uitgevoerd in N-type silicium halfgeleidermateriaal.

30

6. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens conclusie 5, met het kenmerk dat, wanneer de genoemde halfgeleider Hall-platen zijn vervaardigd in N-type silicium

35

.....

.

halfgeleidermateriaal via een proces dat heeft geresulteerd in het samenvallen van het substraat-oppervlak met het (100) kristalvlak van het silicium halfgeleidermateriaal, platen worden gebruikt waarvan de oriëntatie in het kristalvlak zodanig is dat de rechte verbindingslijn tussen de aansluitingen A_1 en A_2 van het aansluitingenpaar (A_1 , A_2) en de rechte verbindingslijn tussen de aansluitingen B_1 en B_2 van het aansluitingenpaar (B_1 , B_2), samenvalt met of orthogonaal is ten opzichte van de kristal-assen [010] of [001], of equivalente kristalrichtingen van het silicium halfgeleidermateriaal.

7. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens één van de conclusies 2 tot en met 6, met het kenmerk dat vier van de genoemde Hall-platen met elk twee aansluitingenparen (A_1 , A_2) en (B_1 , B_2) worden gebruikt, waarbij de tweede, derde en vierde plaat respectievelijk 90 graden, 180 graden en 270 graden zijn verdraaid ten opzichte van de eerste plaat, en waarbij de vier platen parallel zijn geschakeld door telkens de overeenkomstige aansluitingen van de vier platen met elkaar te verbinden.

8. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens conclusie 7, met het kenmerk dat genoemde Hall-sensor met genoemde vier parallel geschakelde Hall-platen, bestaat uit een silicium 'chip' waarin de vier Hall-platen allen in hetzelfde siliciumsubstraat zijn geïntegreerd.

30

9. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens één van de voorgaande conclusies, met het kenmerk dat Hall-platen worden gebruikt, die bestaan uit een laag N-type silicium, die zich bevindt tussen een onderliggend substraat

..

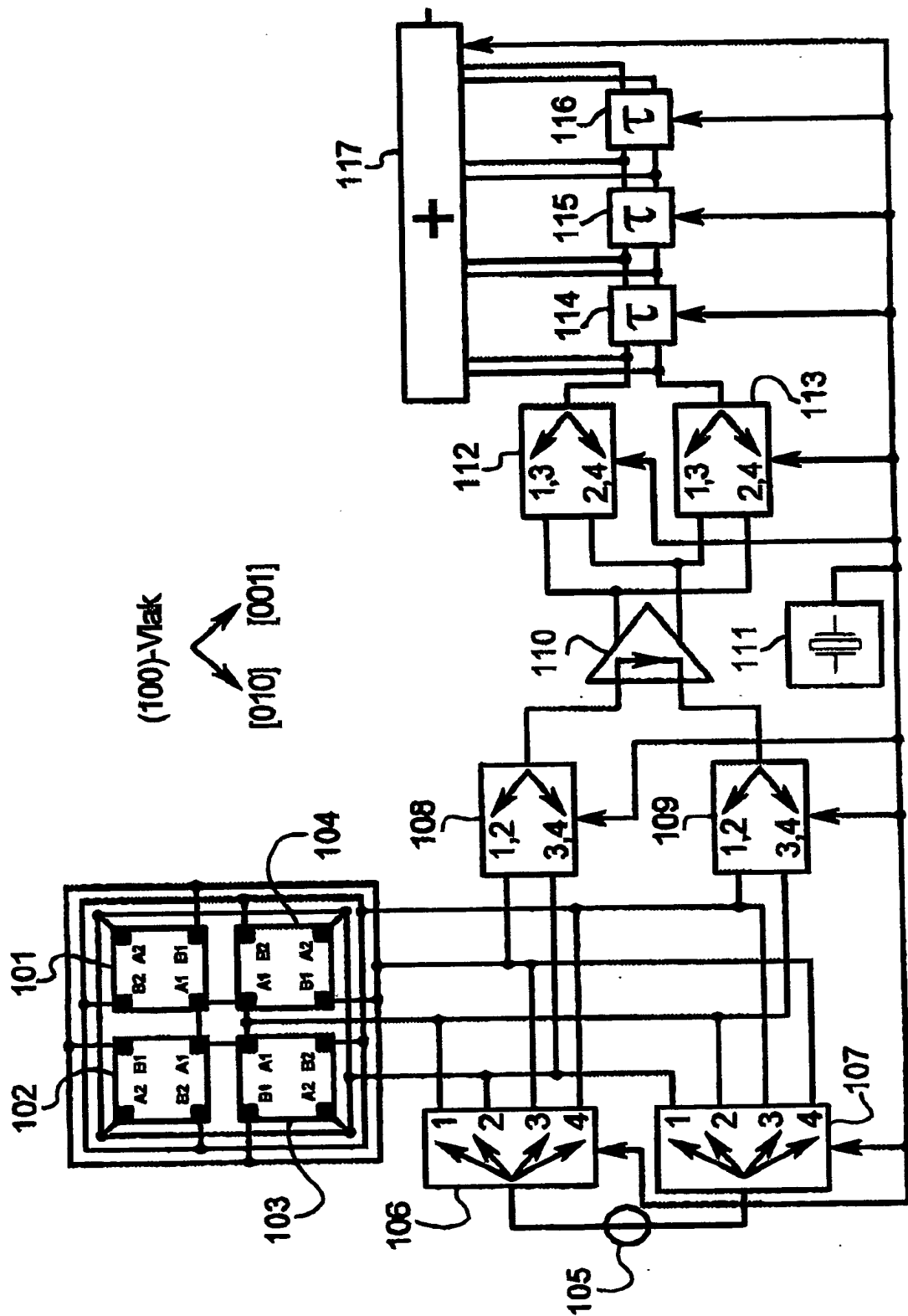
.....

van P-type silicium en een toplaag van P-type silicium.

10. Werkwijze voor het verrichten van metingen aan magnetische velden met gebruik van een Hall-sensor volgens
5 één van de conclusies 2 tot en met 9, met het kenmerk dat het uitgangssignaal van de genoemde Hall-pla(a)t(en) door een vertragingsslijn met een zodanige structuur wordt geleid dat, na sommatie en middeling, de meetwaarden worden afgeleverd met dezelfde frequentie als waarmee de genoemde vier
10 meetstappen $\{V_{ex}(X+, Y-), I_{det}(X \rightarrow Y)\}$ worden doorlopen.

11. Inrichting voor het verrichten van metingen aan magnetische velden, met het kenmerk dat in de inrichting de
werkwijze volgens één van de voorgaande conclusies wordt
15 toegepast, en tevens dat van de hiervoor benodigde elektronische componenten, er meerdere tezamen zijn geïntegreerd in hetzelfde siliciumsubstraat.

.....



Figuur 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.